

УДК539.374.2

А. В. Ерёмин*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

**Funk1.ghetto@gmail.com*

Научный руководитель – проф., д-р техн. наук *Ю. Н. Логинов*

ЭФФЕКТЫ ПРИ СКОРОСТНОМ ВОЛОЧЕНИИ МЕДНОЙ ПРОВОЛОКИ

Приведены данные, показывающие на высокие уровни скорости деформации при волочении на современном высокоскоростном оборудовании. Показано, что в литературе отсутствует информация о поведении материалов, в том числе о сопротивлении деформации, при таких высоких скоростях скорости деформации.

Ключевые слова: медная проволока, волочение, скорость деформации.

А. V. Yeryomin

EFFECTS IN THE HIGH SPEED COPPER WIRE DRAWING

Data are given showing the high levels of strain rate during drawing on modern high-speed equipment. It is shown that in the literature there is no information on the behavior of materials, including the resistance to deformation, at such high values of strain rate.

Keywords: copper wire, drawing, strain rate.

Проволоку электротехнического назначения производят из меди или из алюминия как материалов, обладающих наиболее высокой электропроводностью. Обычно принято считать, что медь обладает высокими пластическими свойствами, поэтому производство проволоки не представляет трудностей. При этом забывается, что наиболее высокими пластическими свойствами обладает медь теплотехнического назначения, обычно она раскислена фосфором. Медную катанку, как заготовку, предназначенную для волочения, в настоящее время производят, как правило, методом непрерывной разливки [1] и последующей горячей прокатки [2]. Медь электротехнического назначения отличается повышенным содержанием кислорода, что позволяет нейтрализовать вредное действие примесей, снижающих электропроводность. Это повышенное содержание кислорода приводит к снижению пластических свойств и может обусловить повышенную обрывность проволоки при волочении [3].

Вместе с тем, в процессе волочения добиваются создания таких условий, что катанку удастся деформировать от диаметра 8 мм до диаметра 2 мм без отжига. Коэффициент вытяжки при этом составляет величину $\lambda = 8^2/2^2 = 16$, относительное обжатие равно $\varepsilon = 100 \cdot (\lambda - 1) / \lambda = 94 \%$. После рекристаллизационного отжига проволоку удастся протянуть до диаметра 200 мкм, при этом $\lambda = 2^2/0,2^2 = 100$, $\varepsilon = 99 \%$. Здесь видно, что в производственной практике коэффициент вытяжки на втором этапе волочения удастся повысить в 6 раз. Видимо, можно считать, что тонкая проволока обладает большим запасом пластичности, чем более толстая, хотя и ту и другую проволоку протягивали, начиная с рекристаллизованного состояния.

Объяснение этому явлению дать затруднительно. Допустим, что влияние на пластичность могут оказывать условия обработки толстой и тонкой проволоки. Грубое волочение и тонкое волочение начинаются с небольших скоростей. Поскольку применяются станы многопроходного волочения, то каждый следующий проход из условия постоянства секундных объемов осуществляется с большей скоростью с коэффициентом пропорциональности, примерно равным коэффициенту вытяжки. В результате скорость многократно возрастает. Для примера, если скорость на первом барабане была 0,3 м/с, то при грубом волочении она возрастет в 16 раз и составит 4,8 м/с (хотя она может доходить до 20 м/с), а при тонком волочении соответственно 30 м/с.

Для расчета скорости деформации при волочении применяют следующую формулу

$$\xi = \frac{6 \ln \lambda \cdot \operatorname{tg} \alpha}{(\lambda \sqrt{\lambda} - 1) \cdot d_1} v_1, \quad (1)$$

где α – полуугол волоки; d_1 и v_1 – диаметр волоки и скорость выхода проволоки из волоки, соответственно.

Полуугол волоки при волочении меди принимают около 10° , что обусловлено свойствами материала [4].

Выполненные расчеты показывают, что при существующих режимах обжатий скорость деформации при линейной скорости на выходе из стана грубого волочения 20 м/с находится около 6000 с^{-1} . Как это следует из формулы (1) на стане тонкого волочения при тех же режимах должна оказаться больше во столько раз, во сколько раз произошло утонение проволоки: с 2 мм до 0,2 мм, т. е. в 10 раз. Таким образом, скорость деформации составит величину 60000 с^{-1} .

Насущная проблема состоит в том, что существующие средства испытаний материалов не могут развивать такие скорости деформации. Отрывочные данные есть по результатам испытаний на пластометрах при использовании тонких образцов в виде пластинок. Они говорят о том, что сопротивление деформации ощутимо возрастает. Подобные же данные получены при испытаниях медной проволоки, в том числе, протянутой с

различными скоростями [5, 6]. Выявлено, что медная проволока при высокоскоростном волочении получается прочнее. Сейчас это объясняется процессами текстурирования, которые могут зависеть от скорости. Подтверждение значительному развитию процессов текстурирования, особенно в состоянии высокой нагартовки, изложено в статье [7].

При этом диаметр 200 мкм все-таки принято считать предельным для тонкого волочения, при дальнейшем волочении без отжига нарастает риск повышенной обрывности, тем более, что волочение осуществляют в режиме скольжения. Поэтому более тонкую проволоку, ее называют тончайшей, получают волочением на других машинах с промежуточным отжигом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Логинов Ю. Н. Формоизменение и сопротивление деформации анизотропной непрерывно-литой меди / Ю. Н. Логинов, А. Ю. Зуев // Заготовительные производства в машиностроении. 2011. № 1. С. 32–37.
2. Структурное состояние медной катанки, полученной при непрерывном процессе литья-прокатки / Ю. Н. Логинов [и др.] // Цветные металлы. 2013. № 8 (848). С. 87–92.
3. Логинов Ю. Н. Исследование изменения относительного сужения кислородсодержащей медной проволоки по маршруту волочения / Ю. Н. Логинов, А. С. Осминин, Т. П. Копылова // Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 5. С. 29–32.
4. Логинов Ю. Н. Влияние угла рабочей зоны волоки на напряженное состояние в очаге деформации при волочении меди / Ю. Н. Логинов // Цветные металлы. 2010. № 3. С. 94–97.
5. Влияние скорости деформации на свойства электротехнической меди / Ю. Н. Логинов [и др.] // Металлы. 2011. № 2. С. 31–39.
6. Effect of the strain rate on the properties of electrical copper / Y. N. Loginov [et al.] // Russian metallurgy (Metally). 2011. V. 2011. № 3. P. 194–201.
7. Unusual young's modulus behavior in ultrafine-grained and microcrystalline copper wires caused by texture changes during processing and annealing / P. P. Pal-Val [et al.] // Materials Science and Engineering: A. 2014. V. 618. P. 9–15.